

産学共創基礎基盤研究プログラム 平成30年度事後評価結果

1. 研究課題名：固溶原子と相変態を利用したマルチスケールでのヘテロ構造化によるチタン焼結材の高強度・高延性同時発現機構の解明と高次機能化

2. 研究代表者：近藤 勝義(大阪大学 接合科学研究所 教授)

3. 研究概要

研究代表者らは、ユビキタス元素である O や Fe を多量に含む Ti 焼結体を出発材料として、熱間加工・熱処理プロセスにより、高強度・高延性の両立に加え、高靱性や高耐食性も兼ね備えた革新的なチタン合金の材料創製に向け、多面的に取り組んだ。研究代表者の強いリーダーシップのもと、異分野の3グループ(材料創製、計算材料科学、電気化学)の有機的な連携を図った。実験と計算による O や Fe の固溶制御、および α 相安定化元素である O および β 相安定化元素である Fe を活用した $\beta \rightarrow \alpha$ 変態制御により、従来材を凌ぐ強度-延性バランスを獲得した。また、懸念された耐食性についても貴重な知見を得ている。さらに、上記した諸特性発現機構の解明にも取り組み、特性向上のための基本原理を提案している。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果

Ti-O(0~1.5%)、Ti-Fe(0~6%)およびTi-4%Fe-0.45%O焼結体を出発材に熱間加工・熱処理により材料創製し、従来材を凌駕する強度-延性バランスを獲得している。すなわち、Ti-Oにおいては、0.7%Oまでは α 域熱処理でOは均一に固溶することが、またそれ以上のO量では $\alpha+\beta$ 二相組織域焼鈍時の α 相へのOの分配と軟質な β 相(α')からなるヘテロ組織が優れた特性を発現する主因であることを提示している。また、Ti-4%Fe、Ti-4%Fe-0.45%O焼結体の熱間押し出し材の強度・延性バランスが優れ、その機構が等軸結晶粒をもつ α 相と β 相に起因することを解明している。産学共創の場での産業界からの意見を取り入れ、溶製材を出発素材とした場合においても同様の原理が働き、特性が向上する知見を獲得している点は特筆される。

Feを多量に固溶するTi焼結材の耐食性について電気化学的に評価し、腐食電流密度は工業用純Ti溶製材に匹敵し、不働態維持電流密度は2~4倍程度溶解速度が大きくなるという貴重な知見を獲得した。しかし、Feの影響に関する機構は未解明であり、Ti合金の耐食性に及ぼすFeの影響については、今後のさらなる研究の発展を待ちたい。

上記した実験結果を理論面から支援すべく、O、NやFeなどの添加元素の固溶限、偏析やhcp構造の軸比 c/a に関する第一原理計算や組織と力学特性に関するマルチスケール解析に取り組み、多くの貴重な知見を獲得している。今後も実験と計算の両者の有機的な連携がさらに深まることを期待したい。

4-2. 今後の研究に向けての期待

平成31年度から、素材メーカーとの共同研究がスタートすること、さらに公的研究開発事業を活用した医療機器・医療デバイスへの展開がスタートすること、および平成29年度に未来社会創造プロジェクトに採択され3Dプリンティング技術への応用が展開中であることは、産学共創基礎基盤研究の主旨からも高く評価でき、今後の発展を期待するとともに、継続して産学連携活動に取り組んでいただきたい。

優れた強度・延性特性の発現機構に対する多くの知見を得たが、学術的には未解明の課題も残っているので、これらについての研究の深化を期待している。一方、すでに得られた知見に関しては、今後も積極的な論文発表をお願いしたい。また、国際会議での発表を通して、本分野の存在感も高めていただきたい。特許出願が無いのは残念である。工業的にも極めて価値の高い新知見を得ているので、基本特許の出願を是非お願いしたい。

4-3. 総合評価

総合評価 A

FeやOを有効活用したTi焼結体を素材に、熱間加工・熱処理プロセスにより革新材料を開発する研究に多面的に取り組む、目標を達成する成果を挙げた。また、材料設計のための基本指針を提案した。これらの成果は、研究代表者がリーダーシップを発揮し、異分野の3グループ(材料、計算、腐食)が有機的に活動した結果と考える。飛躍した強度-延性バランスを有するTi-O、Ti-FeおよびTi-Fe-O合金を得るための新知見を獲得した点も高く評価できる。さらに、優れた強度・延性特性の発現機構についても、実験と計算を融合させた取り組みにより大きな進歩があった。しかし、学術的には未だ課題も残り、機構解明に向けた今後の取り組みをお願いしたい。

産学共創の場の意見をくみ取り、素材が焼結体ではなく溶製材の場合においても、本研究で得た指導原理が成立することを示した点は特筆される。さらに、産業界の要請を受けて α Ti-X(26元素)の固溶エネルギーと固溶サイトの検討を行ったことも貴重である。また、新たな産学連携活動への展開も高く評価される。

一方では、必ずしも完全に解明されていない課題や研究の進展につれて新たに出てきた課題もあるので、これらについては今後の研究の深化を期待する。また、Fe起因の耐食性劣化機構および靱性評価については、今後の宿題として是非研究を継続していただきたい。

以上